

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-272764

(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(51)Int.Cl.

G03F 1/08

G02B 5/18

H01L 21/027

(21)Application number : 2000-084190

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 24.03.2000

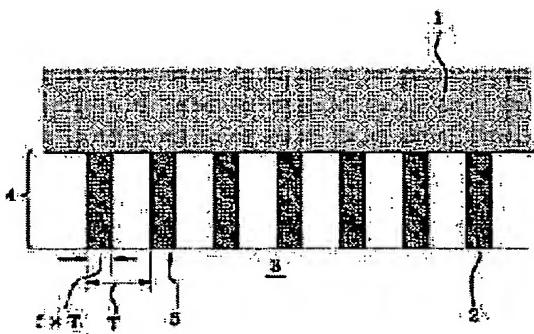
(72)Inventor : SEKINE YOSHIYUKI  
TAKAGI YASUHIRO

**(54) PHOTOMASK FOR PROJECTION EXPOSURE AND FOR PROJECTION EXPOSURE METHOD USING THE PHOTOMASK**

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To control the complex amplitude transmittance by a single method and to realize a super resolution method including phase modulation which is used for a phase shift mask method by modulating the complex amplitude.

**SOLUTION:** This photomask consists of a photomask substrate 1 and a grating layer 4 formed on at least a part of the photomask substrate 1. The grating layer 4 consists of a periodical structure 5 having a grating pitch T smaller than the wavelength of the light used for projection exposure. At least one medium constituting the grating layer 4 consists of an absorptive medium 2 which partly absorbs the light during projection exposure. In the periodical structure 5, the thickness of the grating layer 4 is almost constant and the absorptive medium 2 has a square cross section.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-272764

(P2001-272764A)

(43)公開日 平成13年10月5日 (2001.10.5)

(51)Int.Cl.<sup>1</sup>

G 0 3 F 1/08

G 0 2 B 5/18

H 0 1 L 21/027

識別記号

F I

G 0 3 F 1/08

G 0 2 B 5/18

H 0 1 L 21/30

テ-マコト<sup>1</sup>(参考)

A 2 H 0 4 9

2 H 0 9 5

5 0 2 P

審査請求 未請求 請求項の数10 O.L (全 10 頁)

(21)出願番号

特願2000-84190(P2000-84190)

(22)出願日

平成12年3月24日 (2000.3.24)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者

関根 義之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72)発明者

高木 康博

神奈川県横浜市都筑区仲町台4-19-12ヒルズ高穂203

(74)代理人 100086287

弁理士 伊東 哲也 (外1名)

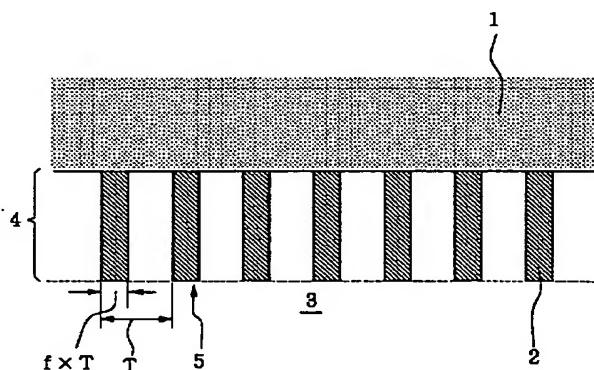
Fターム(参考) 2H049 AA02 AA12 AA45 AA55 AA66  
2H095 BB02 BB03 BB32 BB33 BB36

(54)【発明の名称】 投影露光用フォトマスク、およびそれを用いた投影露光方法

(57)【要約】

【課題】 複素振幅透過率を単一の方法で制御可能とし、複素振幅変調することで位相シフトマスク法で利用される位相変調も含めた超解像法を実現する。

【解決手段】 フォトマスク基板1と、該フォトマスク基板1上の少なくとも一部に形成されたグレーティング層4とを有する投影露光用フォトマスクであって、該グレーティング層4は投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチTを持つ周期構造5からなり、該グレーティング層4を構成する媒質の少なくとも一つは投影露光を行う際の光を一部吸収する吸収性媒質2からなる。周期構造5は、グレーティング層4の厚さが略一定であり、吸収性媒質2の断面が矩形である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 フォトマスク基板と、該フォトマスク基板上の少なくとも一部に形成されたグレーティング層とを有する投影露光用フォトマスクであって、該グレーティング層は投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチを持つ周期構造からなり、該グレーティング層を構成する媒質の少なくとも一つは投影露光を行う際の光を一部吸収する吸収性媒質からなることを特徴とするフォトマスク。

【請求項2】 請求項1に記載のフォトマスクであって、前記グレーティング層の厚さはマスク上で略一定であり、前記周期構造は第一の媒質および投影露光を行う際の光の一部を吸収する第二の媒質で構成され、前記グレーティング層の周期構造の断面は矩形であり、前記周期構造内で前記第二の媒質が占める割合が前記フォトマスク上の位置に応じて変化していることを特徴とするフォトマスク。

【請求項3】 フォトマスク基板と、該フォトマスク基板上の少なくとも一部に形成されたグレーティング層とを有する投影露光用フォトマスクであって、該グレーティング層は投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチを持つ周期構造からなり、該周期構造は第一の媒質および投影露光を行う際の光の一部を吸収する第二の媒質で構成されていて、前記フォトマスク上の位置に応じて該周期構造内で前記第二の媒質が占める割合を変化させることで複素振幅透過率を予め決められた複数の値に設定されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項4】 請求項1または3に記載のフォトマスクであって、前記グレーティング層の周期構造の格子ピッチが投影露光を行う際の光の波長の $1/5$ よりも小さいことを特徴とするフォトマスク。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載の投影露光用フォトマスクと該フォトマスクに対応した偏光制御手段とを有することを特徴とするフォトマスク。

【請求項6】 請求項5記載の投影露光用フォトマスクにおいて、前記偏光制御手段はフォトマスク基板と分離された偏光板であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項7】 請求項5記載の投影露光用フォトマスクにおいて、前記偏光制御手段は前記フォトマスク基板の前記グレーティング層の裏面に投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチを持つ周期構造からなる偏光制御層が形成されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項8】 請求項1～7のいずれかに記載の投影露光用フォトマスクを用いることを特徴とする投影露光方法。

【請求項9】 フォトマスク基板と、該フォトマスク基板上の少なくとも一部に形成された投影露光波長よりも小さい格子ピッチのグレーティング層とを有する投影露光用フォトマスクの、該グレーティング層の周期構造の格

子ピッチの内の光吸収性媒質の占める割合をofilfaクタとしたとき、前記フォトマスク基板上のofilfaクタの分布によって被投影露光対象物上の対応する部所の光強度分布を制御することを特徴とする投影露光方法。

【請求項10】 請求項8または9記載の投影露光方法を具備した投影露光装置を用いてデバイスを製造することを特徴とする半導体デバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、投影露光用フォトマスク、およびそれを用いた投影露光方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 現在、半導体集積回路や液晶表示装置、薄膜磁気ヘッド等集積度の高いデバイスを作製するにはフォトリソグラフィの工程を用いるのが一般的である。この工程に欠かせない装置として、フォトマスク（レチカル）上に描かれているパターンをフォトレジストが塗布されている基板（ウエハ）上に露光するための投影露光装置があり、従来からステップアンドリピート方式による縮小投影型が広く使われているが、最近はステップアンドスキャン方式（スキャナ）も通常に利用されている。

【0003】 以前はHgの輝線スペクトルであるi線（波長 $\lambda = 365\text{ nm}$ ）を光源としたステップアが利用されていたが、集積度の高いデバイスを作製するには光源の波長を短くして投影光学系の解像度を向上させることができ有効であるため、現在ではKrFエキシマレーザ（波長 $\lambda = 248\text{ nm}$ ）が主流となっており、パターンサイズ $0.18\mu\text{m}$ のデバイスが商業ベースで提供されている。今後はさらなる解像度向上のため、ArFエキシマレーザ（波長 $\lambda = 193\text{ nm}$ ）やF<sub>2</sub>エキシマレーザ（波長 $\lambda = 157\text{ nm}$ ）等、短波長化が進んでいくことになる。

【0004】 しかしながら、短波長化を進めていくと、別の重大な問題が発生する。問題のうち最も大きなものは、投影光学系に使用できる硝材が無くなってしまうことである。現在の投影光学系として、収差量、加工精度、制御性などから十分実際の装置搭載に耐えるのは屈折系即ちレンズを含む光学系である。レンズに使用する硝材の透過率は一般の硝材の場合、短波長即ち深紫外線の領域ではほとんど0である。露光装置用に特別な製造方法を用いて製造された硝材として石英等が現存するが、この透過率も $193\text{ nm}$ 以下では急激に低下し、 $157\text{ nm}$ の領域では実用的な硝材の開発は非常に困難である。更に透過率の条件以外にも耐久性、屈折率均一性、光学的歪み、加工性等々の複数条件を満たす硝材の存在自体が危ぶまれている。

【0005】 光源の波長を固定した場合に、投影光学系

の解像度を上げる方法としては、その開口数 (N A) を大きくする方法やいわゆる超解像法を適用する方法などがある。

【0006】高N A化については現在も暫時進められており、現在は0.65程度が主流である。今後は0.7を大きく越えていくものと考えられるが、N Aが大きくなると投影光学系の性能として重要なもう一つの量である焦点深度が小さくなるという問題がある。また、高N A投影光学系の設計は非常に困難であり、設計ができたとしても要求される性能で製造することはさらに困難である。このように、高N A化もまた短波長化と同様、難しい課題となっている。

【0007】一方、投影光学系の解像度を見かけ上向上させるいわゆる超解像法に分類される手法としては、斜入射照明法や瞳フィルタ法など露光装置により実現するものの、位相シフトマスク法などのフォトマスクを操作するもの、非線形レジストの特性を利用したものなど様々な種類がある。これらの方針を組み合わせて使うこともある。

【0008】位相シフトマスク法は、マスク上の特定の領域において透過光の位相に所望のシフト量を与えるものである。位相シフトの与え方は、その領域に適当な媒質をデポジットする、あるいは基板をエッチングすることにより段差を形成し、媒質と空気の屈折率差により位相差を与えればよい。

【0009】どのような形で位相差を与えるかは種々の方法が知られているが、最も効果が高いとして知られているものは、図9(a-1)で示したレベンソン型の位相シフトマスクである。レベンソン型の最も単純な例は、通常のラインアンドスペースパターンを生成するマスクにおいて、透光部によって与えられる位相を交互に0°、180°となるようにしたものである。すなわち、隣接した透光部の位相差が常に180°となるようにしてあるため、投影された複素振幅 [図9(a-2)]も透光部ごとに正負が交互に現れる。このため、遮光部中央付近での光強度をほぼ0にすることができる

[図9(a-3)]。通常のマスクの場合、非露光部であるべき遮光部中央においても線幅が細いと像の広がりにより強度が0にならずコントラストの低下、延いては解像できなくなることになる。レベンソン型の位相シフトマスクでは通常マスクに比べて解像可能な線幅を約1/2にすることができる。

【0010】しかしながら、レベンソン型のマスクはラインアンドスペースパターンには有効であるものの隣接部からの光の干渉を利用しているため、孤立パターンには適用できないという問題がある。孤立パターン、特に矩形パターンの解像度向上に有効な手法として図9(b-1)に示したハーフトーン型位相シフトマスクがある。これは、透光部となる矩形パターンの周辺部に光を一部透過し、かつ矩形パターンからの透過光との位相差

が180°となるような半透光部を設けたものである。投影後得られる複素振幅と光強度をそれぞれ図9(b-2)、図9(b-3)に示す。このように矩形パターンからの透過光と周辺部からの透過光が干渉して光強度がほぼ0の領域ができるので、孤立の矩形パターンのサイズを小さくすることができるようになる。ただし、その効果はレベンソン型のように大きくはない。

【0011】また、エッジ型の位相シフトマスク [図9(c-1)]も孤立パターンの形成に有効である。これは通常の透光部に位相差が180°となるような場所を設けることで、その投影される複素振幅は図9(c-2)のようになる。この位相転移部 (エッジ) は複素振幅の符号が入れ替わるため振幅0となる場所がある。そのため、光強度分布は細い暗線が存在する [図9(c-3)]ことになり、パターンとして利用できることになる。レジストが露光される閾値を変えれば微細な孤立線も形成することができる。しかし、この方法でも例えば孤立のラインパターンを生成するには位相差が180°となる場所の境界部からラインのみを取り出すための処理が必要となり、その露光プロセスは複雑となる。

【0012】  
【発明が解決しようとする課題】従来例からも分かるように、位相シフトマスク法は投影光学系の解像度を向上させることはできるが、種々のパターンを超解像法を用いて一括に露光する場合にはパターンに応じて異なる位相シフト法を使用する必要がある。このような場合、異なるマスク製法をそれぞれの領域に対して用いるような複雑なプロセスを経て同一マスク上に形成するか、マスクを複数用意して複数回の露光を行う必要がある。

【0013】位相シフトマスク法の有効性は明らかであるので、透過光の強度と位相、すなわち複素振幅を一つの方法で変化させることができれば、任意のパターンに対して投影露光時の光強度分布をより高い自由度で調整して解像度を上げることができる。そのため、透過光の複素振幅を单一の方法で制御できるようにすることが課題となっている。

【0014】本発明は、複素振幅透過率を单一の方法で制御することができ、複素振幅変調することで位相シフトマスク法で利用される位相変調も含めた超解像法を実現できる投影露光用フォトマスクおよびそれを用いた投影露光方法を提供することを目的とする。

【0015】  
【課題を解決するための手段】本発明は、前記課題を解決するために、フォトマスク基板と、該フォトマスク基板上の少なくとも一部に形成されたグレーティング層とを有する投影露光用フォトマスクであって、該グレーティング層は投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチを持つ周期構造からなり、該グレーティング層を構成する媒質の少なくとも一つは投影露光を行う際の光を一部吸収する吸収性媒質からなることを特徴とす

る。

【0016】また、本発明は、フォトマスク基板と、該フォトマスク基板上の少なくとも一部に形成されたグレーティング層とを有する投影露光用フォトマスクであって、該グレーティング層は投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチを持つ周期構造からなり、該周期構造は第一の媒質および投影露光を行う際の光の一部を吸収する第二の媒質で構成されていて、前記フォトマスク上の位置に応じて該周期構造内で前記第二の媒質が占める割合を変化させることで複素振幅透過率を予め決められた複数の値に設定したことを特徴とする。

【0017】また、本発明に係る投影露光方法は、フォトマスク基板と、該フォトマスク基板上の少なくとも一部に形成された投影露光波長より小さい格子ピッチのグレーティング層とを有する投影露光用フォトマスクの、該グレーティング層の周期構造の格子ピッチの内の光吸収性媒質の占める割合をofilfactaとしたとき、前記フォトマスク基板上のofilfactaの分布によって被投影露光対象物上の対応する部所の光強度分布を制御することを特徴とする。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態として、前記グレーティング層内の周期構造の格子ピッチは露光時の光の波長の $1/5$ よりも小さいことが満たされると、複素振幅を制御する上で好ましい。また、前記フォトマスクにおいて、グレーティング層の厚さはマスク上で略一定とし、グレーティング層は第一の媒質と投影露光時の光の波長を一部吸収する第二の媒質からなり、周期構造の断面は矩形であり、一周期内で第二の媒質が占める割合が場所に応じて変化していることを特徴とするフォトマスクを作製利用することで、吸収性の第二の媒質の占める割合のみを制御すれば良く、マスク全体が一回のプロセスにより作製可能、同時にマスク各点での複素振幅を制御することを可能にする。

【0019】また、以上の特徴をすべて利用し、マスク上の複素振幅透過率を予め決められた複数の値に設定してもよい。さらに、前記フォトマスクの複素振幅変調制御性を向上させるため、フォトマスクを照射する光の偏光方向を制御する手段と併用すればよい。

#### 【0020】

【実施例】本発明の第一の実施例を図を用いて詳細に説明する。図1は本発明の第一の実施例に係る投影露光用複素振幅変調フォトマスクの要部断面図である。1はフォトマスク基板、2は投影露光を行う際の光を一部吸収する吸収性媒質、3はフォトマスク基板1の周囲の媒質であり、これは通常空気と考えてよい。

【0021】ここで、グレーティング層4は吸収性媒質2と媒質3からなる周期構造5が連なる形となっており、厚さが略一定である。周期構造5は、断面が矩形の吸収性媒質2をフォトマスク基板1上に配列した1次元

格子状の配列構造であり、投影露光を行う際の光の波長よりも小さい格子ピッチTを持っている。この格子ピッチTの内、吸収性媒質2が占める割合をofilfacta(fill factor)と呼び、以後fで表す。

【0022】本実施例は、グレーティング層4の厚みを変えずに位置別にofilfacta fを変化させることで複素振幅分布を制御し、即ち、この複素振幅分布に基づく被投影露光面上の光強度分布を制御するものである。図2は格子ピッチT=0.1λの条件でofilfacta fを変化させたときの複素振幅透過率を示す図である。

図2(a)はTM偏光に対する結果、図2(b)はTE偏光に対する結果である。ここで、TM偏光とは光の磁場ベクトルが格子に平行(図1で紙面に垂直)である状態、TE偏光とは光の電場ベクトルが格子に平行である状態である。入射光は、波長λが619.9nmであって、フォトマスク基板1からグレーティング層4へ垂直に入射しており、フォトマスク基板1とグレーティング層4の境界面で振幅1と位相0の複素振幅を持ってい。吸収性媒質2はS<sub>i</sub>であり、その複素屈折率nは4.00-0.12i、グレーティング層4の厚さは2λとしている。また、ofilfacta fの値は0~1.0であり、この間を200等分している。図2、図3、図4は上記条件の下、各ofilfacta fについて0次回折光の振幅透過率tと位相回転δを計算し、これらをそれぞれ複素数の絶対値と偏角として複素平面上にプロットしたものである。

【0023】ofilfacta fを0から1まで変化させると、図2(a)、(b)に示す場合、共に複素振幅透過率がほぼ(1,0)である点Sから出発して複素平面上を周回し、原点に近い点Eに到達する。この特徴を利用すると、ofilfacta fを変化させることで入射光の複素振幅を変調することが可能になる。

【0024】例えば、図2(a)において位相変調量π/2が必要な場合、偏角π/2に当たる点(0,0)と点(0,1)とを結んだ線と点Sから点Eに至る螺旋の交点を取ればよい。この交点は6個あるが、それぞれ異なるofilfactaに対応している。その値は螺旋に沿って点Sに近い側から、0.470, 0.713, 0.841, 0.920, 0.968, 0.995である。

40 そのときの振幅透過率は点(0,0)から各交点の距離で表される6個の異なる値を取ることになる。その他の位相変調量が必要な場合も位相変調量に対応する偏角方向の線分と螺旋との交点を取ればよく、振幅透過率は離散的な値となることが分かる。

【0025】このように、複素振幅を任意の値にすることはできないが、位相か振幅のどちらか一方はほぼ連続的に制御でき、他方は離散的な多段変調が可能である。通常の位相シフトマスクは位相の二段の変調である。また、近接効果補正はマスク上に形成された補助パターンにより、露光されるパターンの形状を整えるものである

が、通常補助パターンは振幅の二値変調となる。これら方法は位相または振幅の二値の変調ではあるが、その有効性は高い。本実施例によれば、振幅と位相の一方はほぼ連続的な変調が可能、他方も多値の変調が可能となるため、位相変調と振幅変調をグレーティング層のフィルファクタ制御という同一の方法で同時に行うことが可能となる。このため、孤立パターン等に対してもレベンソン法を用いた超解像の効果と近接効果補正によるパターン形状の調整と同じ方法で達成できる。このように、複素振幅制御の自由度向上は解像度向上とパターン形状の調整に利用できる。言い換えれば本実施例はフィルファクタ分布設定による複素振幅制御によって被投影露光面上にほぼ任意に光強度分布を形成することが可能となる。加えて、図2ではグレーティング層4の厚さを $2\lambda$ としているが、これを増やすことで周回数が増加するため、変調の段数（階調数）を増やすことも可能である。振幅と位相のどちらを連続的に変調するかは用途にもよるが、通常は位相を連続的に変調した方が超解像法の適用に際しては好ましい。

【0026】一例として、一次元の二本線パターンを考える。図12(a)のような複素振幅変調をマスクに与えた場合に $\delta=0$ の光源（コヒーレント光源）で照明することで、図12(b)の光強度分布をウエハ上に得ることができる。マスク上に与えた複素振幅とウエハ上の光強度分布の関係は、通常の光学系を介した像計算と同様にマスクの複素振幅を一旦フーリエ変換して光学系の瞳による遮蔽分を考えた後、再度フーリエ変換する方法で得られる。これを逆に考え、所望の光強度分布を得るようなマスク上の複素振幅を生成することが可能である。このような複素振幅の生成方法として、通常は最適化が利用される。

【0027】図12(a)において、横軸はマスク上の位置を示している。また、縦軸はマスクにより変調された複素振幅の実部と虚部の値を示している。この値は、図12(a)において、実部は横軸、虚部は縦軸の値に相当すると考えてよい。このため、例えば図12(a)を利用してすることでマスク上各位置でのグレーティング層のフィルファクタを決定できる。例えば、点Pの位置でのフィルファクタの決定方法は以下の通りである。点Pで与えられるべき複素振幅の実部は0.61、虚部が0.29であるので、実部の値を横軸、虚部の値を縦軸として図12(a)上にプロットする。この点は螺旋の近傍に存在しており、最も近い螺旋上の点(0.63, 0.34)でのフィルファクタは0.740であるので、このフィルファクタを点Pでのものとして採用する。その他の点でも同様にフィルファクタを決定していくべき。これは点P付近にフィルファクタ0.740となる同期構造が複数ピッチ分マスク上に形成され、その他も各領域別に決定されたフィルファクタの同期構造が形成されたマスクに相当していることになる。プロッ

トした点の近傍に螺旋がない場合、螺旋上の最も近い点を一時的に採用しておき、全体として得られた複素振幅からウエハ上の光強度分布を計算する。さらに、レジストの露光条件などを考慮した上でその複素振幅が受け入れられるかを判断すればよい。もし、受け入れられない場合は、仮に採用したフィルファクタの値を若干量変えて再度判断する方法の他、利用する偏光方向を変える、グレーティング層に用いる媒質や膜厚を変える等により、螺旋の形状を変えてもよい。さらには、複素振幅を最適化する際に、螺旋が取りうる複素振幅の値を考慮しておくのが望ましい。

【0028】図5は本発明の第二の実施例に係るフォトマスクを示し、フォトマスク上の位置によってフィルファクタ $f$ を変化させた複素振幅変調フォトマスクの要部断面図である。領域6および領域7では、吸収性媒質2が格子ピッチ5に占める割合が互いに異なっているように構成されている。これにより、マスクに入射する光8は領域6と領域7において異なる所望の複素振幅変調を受けた後、出射していく。なお、領域6と領域7において、グレーティング層4の厚さは略一致しているが、格子ピッチ5は後述する格子ピッチの条件を満たす範囲内では異なっていてもよい。

【0029】また、吸収性媒質2の材質を変えることで様々な条件、特に使用される波長が異なる条件に適用できる。吸収性媒質が持つべき好ましい条件は、リソグラフィで使用される波長における複素屈折率に対し、条件(a)として複素屈折率1.0に対して比較的大きい実部と小さい虚部を持つという条件と、条件(b)として複素屈折率1.0に対して比較的小さい実部と大きい虚部を持つという条件とがあり、このどちらかである。先の実施例におけるS<sub>i</sub>は上記条件(a)に合致している。通常1.0の屈折率を持つ第二の媒質3との屈折率差が大きいことにより、グレーティング層の厚さが同じでも振幅の階調数が多く得られること、或いは同じ振幅の階調数を得るためにグレーティング層を薄くすることができ、一つの周期構造5の縦横比を1に近くすることができるところによる。このような媒質としてはS<sub>i</sub>の他に有機材料が有望であるが、一部の金属も利用可能である。金属によく見られる条件(b)では入射光の偏光依存性が大きく、通常はグレーティング層の周期構造に対してTM偏光となるように入射されるのが好ましい。

【0030】次に、格子ピッチTが満たすべき条件について述べる。波長 $\lambda$ の光が屈折率n1の媒質から屈折率n2の媒質へ進む際、その界面に格子ピッチTのグレーティング層が存在すると、入射角θ1とm次光の出射角θ2には

$$n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1 + m \times \lambda / T$$

なる関係がある。ここで、フォトマスク基板1の屈折率n1を1.5、第二の媒質2の屈折率n2を1.0とした条件下で光が垂直入射した場合を考える。この場合に

複数の次数 $m$ に対して解 $\theta_2$ が存在しない場合には、 $m=0$ にのみ解が存在すればよい。その条件は $m=1$ に対して $\sin\theta_2 > 1$ が成り立つこと、すなわち $T < \lambda$ である。通常の投影露光系ではマスクに対して斜入射となる光も存在するが、現在考えられる最大のものとして、投影光学系の像側開口数（NA）を0.8、倍率を1/4倍、有効光源 $\sigma$ を1.0としてもその入射角は $12^\circ$ より大きくなり。この場合に透過の0次のみが存在する条件は、 $T < 0.77\lambda$ となる。

【0031】図3は $T = 0.2\lambda$ 、図4は $T = 0.5\lambda$ の条件でフィルファクタ $f$ を変化させたときのTE偏光の複素振幅透過率を示す図である。これらは図2と同様、 $f = 0$ のとき点Sに位置し、フィルファクタ $f$ が変化するに従って複素平面上を周回する。その後、 $f = 1.0$ になると点Eに到達する。しかし、図4から分かるように $T = 0.5\lambda$ では0次のみが存在するという条件は満たしているものの、フィルファクタ $f$ に対する複素振幅の変化が複雑でそれを制御するのは困難である。複素振幅を安定して制御するためには、格子ピッチ $T$ がある程度小さいこと、好ましくは $T \leq 0.2\lambda$ であることが図3ないし図2から分かる。

【0032】格子ピッチ $T$ が波長より小さい1次元格子からなるグレーティング層を光が通過すると、入射時の偏光の方向によって出射時の特性が大きく異なることが知られている。特に、前述のように吸収性媒質2の屈折率が条件（b）であるような場合はTM偏光とTE偏光で全く異なる特徴を示す。

【0033】この偏光依存性を避けるため、第三の実施例として、図6に示されるような2次元格子を用いてグレーティング層を形成すればよい。11はフォトマスク基板、12は吸収性媒質である。好ましい2次元格子としては、2方向の格子ピッチ $T_x$ 、 $T_y$ 、および吸収性媒質12の幅 $f_x \times T_x$ 、 $f_y \times T_y$ がそれぞれ一致するようなものである。 $f_x$ 、 $f_y$ は一次元格子でのフィルファクタ $f$ に相当する。

【0034】あるいは偏光依存性を避けるため、第四の実施例として、マスクを照射する光の偏光方向を制御するものがあり、その概略を図7に示す。光源から発生し、照明光学系を介してマスクを照射する光23は、マスク21に達する前に偏光板22により各領域毎に所望の偏光となるよう調整される。偏光板22は別体として作製して近接あるいは密着させて配置すればよい。また、偏光板22はマスク21のグレーティング層24の裏面に形成してもよい。偏光制御の方法には依らないので、複屈折性媒質を用いるあるいはサブ波長格子による構造性複屈折を利用してもよい。

【0035】リソグラフィによって転写されるパターンによってはグレーティング層の格子の方向を一方向に統一しておくことも可能である。この場合、偏光板全体を单一の偏光子にしてよい。また、図7のようにマスクに

近接させる必要もない。

【0036】図2に示した複素振幅透過率の特性として、透過率が比較的1.0に近いところではTM偏光でのフィルファクタ $f$ の変化による位相の変化が小さいのに対して、TE偏光では位相変化が大きくなる。また、透過率が比較的0に近いところではTM偏光での位相の変化が大きく、TE偏光で小さいというものがある。位相変化が大きい場合、グレーティング層作製時のフィルファクタ $f$ の僅かな誤差が大きな位相誤差に繋がるという制御性の問題が現れるが、マスク照射光の偏光方向をフィルファクタ $f$ に応じて制御すればこの問題を解決できる。

【0037】図8は本発明の第五の実施例として、本発明に係る投影露光用フォトマスクを適用した投影露光方法を説明するための図である。光源30から出射された光は照明光学系31を介して所望の照明条件にせしめられた後、フォトマスク32を照射する。フォトマスク32は照射された光に本発明による各部所に設けられた周期構造の各フィルファクタに対応した複素振幅変調を施し、回折させる。フォトマスク32で回折された光は、投影光学系33によりステージ35上に設置されたウエハ34上に結像される。この際、フォトマスク32はレベンソン型、ハーフトーン型、エッジ型等を同一の作製方法により混載することができるので、通常のフォトマスクと比較して解像度の高い投影露光を行うことができる。

### 【0038】

【デバイス生産方法の実施例】次に上記説明した露光用フォトマスクを装備した投影露光装置を利用したデバイスの生産方法の実施例を説明する。図10は微小デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造のフローを示す。ステップ1（回路設計）ではデバイスのパターン設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計したパターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコンやガラス等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ポンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0039】図11は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶

縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14(イオン打込み)ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では上記説明した露光用フォトマスクを装備した投影露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17(現像)では露光したウエハを現像する。ステップ18(エッチング)では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の生産方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度のデバイスを低成本で製造することができる。

#### 【0040】

【発明の効果】本発明によれば、投影露光用フォトマスクの複素振幅透過率を单一の方法で制御でき、この方法を用いて複素振幅変調することで位相シフトマスク法を利用される位相変調も含めた超解像法を実現できるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

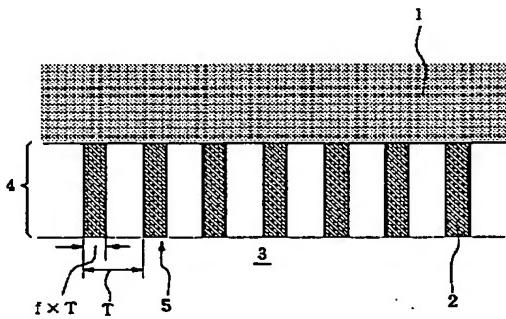
【図1】 本発明の第一の実施例に係る複素振幅変調フォトマスクの要部断面図である。

【図2】 格子ピッチ $T = 0.1\lambda$ の条件下でフィルファクタ $f$ を変化させた場合の複素振幅透過率を示す図であって、(a)はTM偏光の場合、(b)はTE偏光の場合である。

【図3】 格子ピッチ $T = 0.2\lambda$ でフィルファクタを変化させた場合のTE偏光の複素振幅透過率を示す図である。

【図4】 格子ピッチ $0.5\lambda$ でフィルファクタを変化させた場合のTE偏光の複素振幅透過率を示す図である。

【図1】



る。

【図5】 本発明の第二の実施例に係る複素振幅変調フォトマスクの要部断面図である。

【図6】 本発明の第三の実施例に係る複素振幅変調フォトマスクの要部斜視図である。

【図7】 本発明の第四の実施例に係る複素振幅変調フォトマスクの図である。

【図8】 本発明の第五の実施例を示し、本発明に係る複素振幅変調フォトマスクを利用した投影露光方法を説明するための図である。

【図9】 位相シフトマスクの従来例を示す図であって、(a-1)、(a-2)、(a-3)はレベンソン型のそれぞれマスク、像面複素振幅分布、像面強度分布を示す。(b-1)、(b-2)、(b-3)はハーフトーン型のそれぞれマスク、像面複素振幅分布、像面強度分布を示す。(c-1)、(c-2)、(c-3)はエッジ型のそれぞれマスク、像面複素振幅分布、像面強度分布を示す。

【図10】 微小デバイスの製造の流れを示す図である。

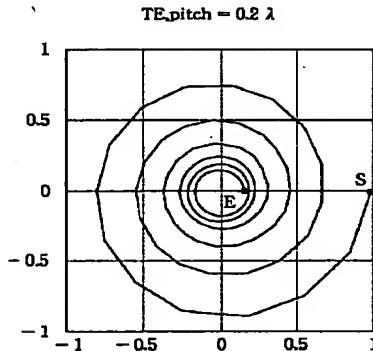
【図11】 図10におけるウエハプロセスの詳細な流れを示す図である。

【図12】 複素振幅変調と光強度分布の関係を示す図である。

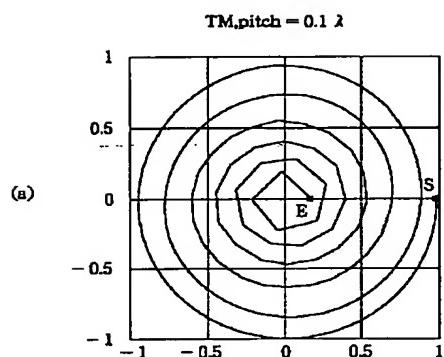
#### 【符号の説明】

1 : フォトマスク基板、2 : 吸收性媒質、3 : 第2の媒質、4 : グレーティング層、5 : 周期構造、6, 7 : 領域、8 : 光、11 : フォトマスク基板、12 : 吸收性媒質、21 : マスク、22 : 偏光板、23 : 光、24 : グレーティング層、30 : 光源、31 : 照明光学系、32 : フォトマスク、33 : 投影光学系、34 : ウエハ、35 : ステージ、T (Tx, Ty) : 格子ピッチ。

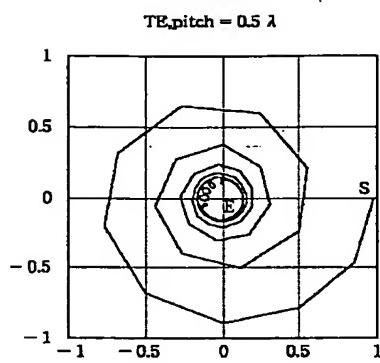
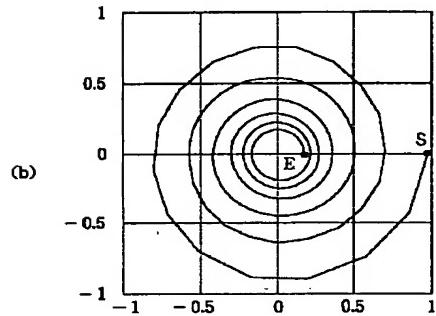
【図3】



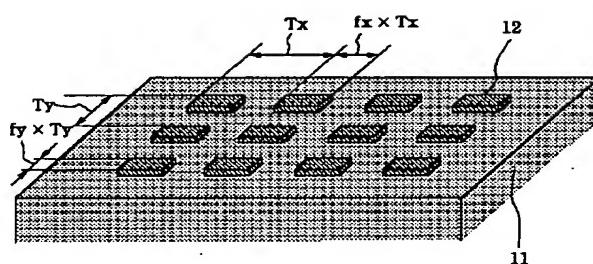
【図2】



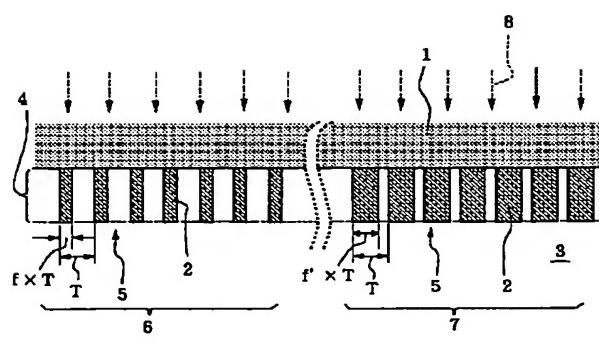
【図4】

TE<sub>pitch</sub> = 0.1 λ

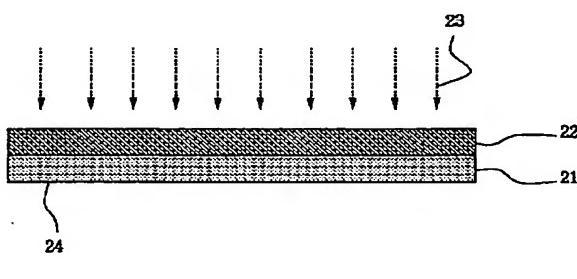
【図6】



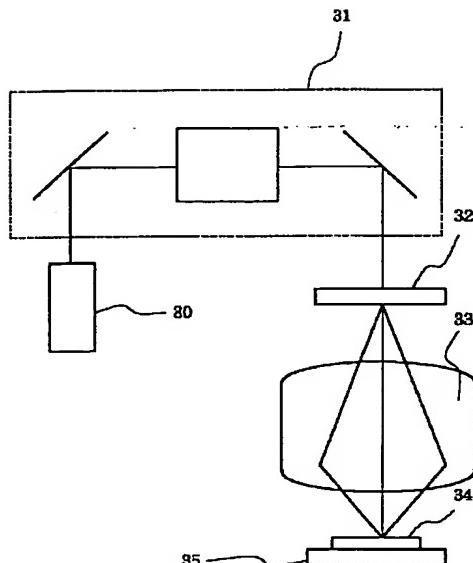
【図5】



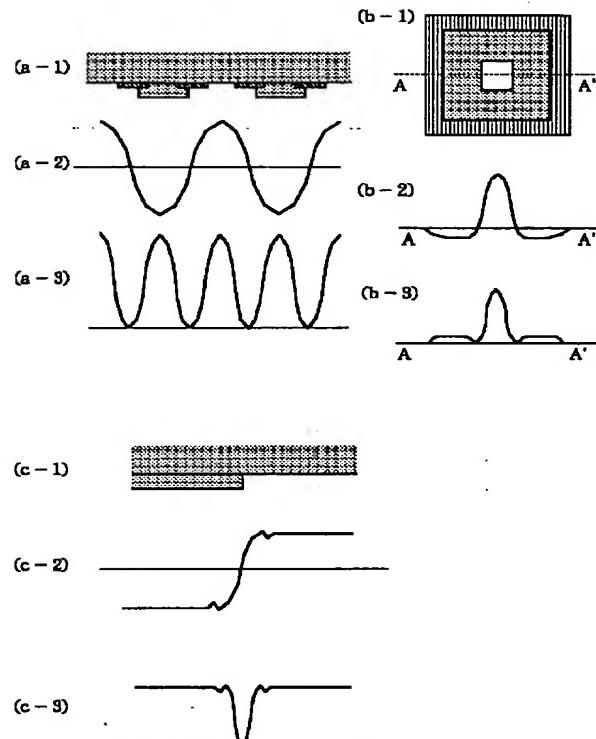
【図7】



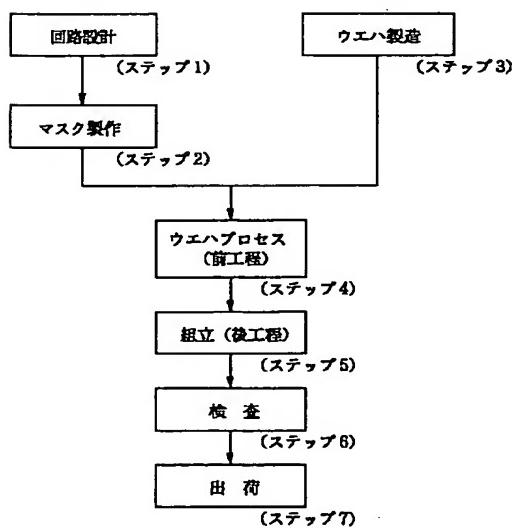
【図8】



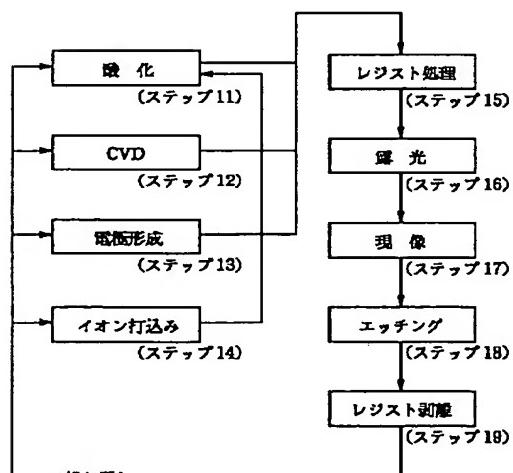
【図9】



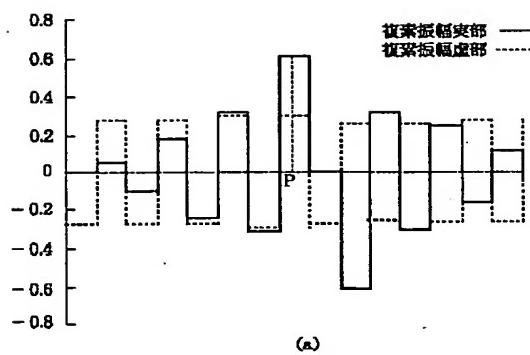
【図10】



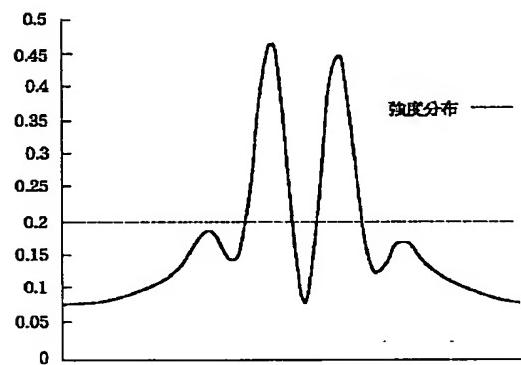
【図11】



【図12】



(a)



(b)